



2800 0600

JC10 Rec'd PCT/PTO 04 FEB 2002

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

STIESDAL, HENRIK

Serial No. 09/980,454

Filed: December 4, 2001

For: WIND POWER PLANT AND METHOD FOR OPERATING IT

Art Unit:

Examiner

LETTER

To the Director of the Patent and Trademark Office
Sir:

This application claims foreign priority benefits under 35 U.S.C. 365 (a) of a PCT international application. The applicant respectfully requests the Examiner to consider the references of record in the International Search Report from the PCT application.

Respectfully,

James C. Wray, Reg. No. 22,693
Meera P. Narasimhan, Reg. No. 40,252
1493 Chain Bridge Road
Suite 300
McLean, Virginia 22101
Tel: (703) 442-4800
Fax: (703) 448-7397

February 4, 2002

2834
1763
RECEIVED
MAR-7 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

Modtaget PD

- 4 JUNI 1999

1

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til drift af vindmølle, hvilken fremgangsmåde omfatter, at en generator via en hovedaksel drives af en energikilde, f.eks. vind, der driver en vindrotor, og hvor generatoren drives med en første foretrukket omdrejningshastighed. Opfindelsen angår også et apparat til brug ved fremgangsmåden.

5

Det er kendt, at der kan opnås visse driftsmæssige fordele på vindmøller, hvis man kan etablere drift med variabelt omløbstal.

10

Mange moderne vindmølle typer er forsynet med en direkte nettilsluttet asynkron generator. Denne generatortype har væsentlige fordele. Selv om der kan være foretaget visse tilpasninger i viklingen, er den direkte nettilsluttede asynkron generator i princippet blot en direkte nettilsluttet asynkronmotor, der af en ydre energikilde drives op på et oversynkront omløbstal. En asynkronmotor med kortsluttet rotor er den mest simple og robuste form for elektromotor, og asynkron generatoren har de samme fordele. De eneste sliddele udgøres af lejerne. Store styktal på motorsiden medfører, at prisen pr. kW er den lavest mulige.

15

20

Den direkte nettilsluttede asynkron generator med kortsluttet rotor har imidlertid også væsentlige ulemper i forbindelse med vindmølle drift. Ulemperne er knyttet til det stort set konstante omløbstal for denne generatortype. Ved større effekter kan generatoren kun vanskeligt udføres med et slip, der overstiger 1 %, da den tabseffekt, der afsættes i rotoren, principielt er proportional med slippet. Overstiger slippet den normale grænse på 1 %, bliver rotortabene så store, at det kan give termiske problemer. Med et slip på 1 % eller derunder bliver vindmøllens omløbstal stort set konstant.

25

30

Et stort set konstant omløbstal er en forudsætning for den ene af de to normale former for effektregulering, staltregulering. Samtidig med, at det er en forudsætning for reguleringen, kan et for lille slip på den anden side give problemer med effektvariationer som følge af torsionsvingninger i transmissionssystemet. Lille slip er ensbetydende med lille dæmpning i generatoren, og derfor kan der optræde vedvarende svingninger af en vis, ikke ubetydelig størrelse.

2

Ved stalfregulering vil fordelene ved det stort set konstante omløbstal normalt overstige ulemperne. Anderledes forholder det sig ved den anden af de to normale former for effektregulering, pitchregulering, hvor det giver ganske væsentlige problemer. Pitchregulering baserer sig på, at vingerne mekanisk kan indstilles til en anden pitchvinkel på rotornavet, når effekten afviger fra den ønskede effekt. Optager rotoren en anden effekt fra vinden, end der aftages af generatoren, vil rotoren accelerere, til der igen er ligevægt mellem optaget og afgivet effekt. Er generatorens slip lille, kræves der kun en beskedent acceleration, før generatoren kan yde en væsentligt anderledes effekt. Den tid, reguleringssystemet har til at indstille vingene, bliver derfor meget kort, og i praksis har pitchregulerede møller med direkte nettilsluttet asynkrongenerator store effektvariationer på grund af variationer i vindhastigheden.

Den direkte nettilsluttede asynkrongenerator har også visse betydelige skavanker i forbindelse med netkvalitet. For det første kræver hensyn til spændingsvariationer på nettet, at indkobling af generatoren sker med kraftelektronik, da indkobling med traditionelle kontaktorer vil medføre for store spændingsvariationer. For det andet har asynkrongeneratoren et ikke ubetydeligt forbrug af reaktiv effekt til magnetisering. Det er almindeligvis nødvendigt at forsyne en vindmølle, der er forsynet med en direkte nettilsluttet asynkrongenerator, med fasekompensering, typisk i form af et kondensatorbatteri.

Problemet med det reaktive effektforbrug kan i princippet løses ved at anvende en direkte nettilsluttet synkrongenerator. Denne generatortype har sine egne tekniske ulemper, herunder en viklet rotor. Til gengæld er netforholdene gode. Var kravene til netforholdene store, kunne man argumentere for, at synkrongeneratorens ulemper var acceptable. Når denne generatortype alligevel slet ikke kan anvendes i direkte nettilsluttet udgave uden særlige tiltag, skyldes det, at synkrongeneratorens slip er 0. De ovenfor nævnte ulemper ved asynkrongeneratoren med lille slip antager i den direkte nettilsluttede synkrongenerator deres mest ekstreme form, og drift med 0 slip er i praksis umulig på grund af effektvariationer. Synkrongeneratoren kan kun anvendes i direkte nettilslutning, hvis der på anden vis etableres et slip mellem gear og generator. Et sådant slip kan f.eks. tilvejebringes med en hydraulisk kobling. Det er dog vanskeligt at

3

opnå mere end nogle få procent slip på denne måde, og det vil normalt ikke være tilstrækkeligt til at sikre en fuldt tilfredsstillende regulering.

5 Et større slip kan opnås ved hjælp af en elektrisk hvirvelstrømskobling. Forsynes en sådan kobling med regulerbar magnetisering, kan slippet reguleres, og koblingen kan indstilles, så momentet fra et vist slip f.eks. bliver en hyperbolsk funktion af omløbstallet, hvorved udgangseffekten kan fastholdes på mærkeeffekten. Skønt en hvirvelstrømskobling således giver den nødvendige reguleringsmulighed, har den imidlertid et par meget væsentlige ulemper. Den vigtigste ulempe er nok, at effekten fra slippet afsættes som varme i koblingen. Har vindmøllen f.eks. en mærkeeffekt på 1 MW, og ønskes et slip på 10 %, vil der afsættes op til 100 kW som varme i koblingen. Det medfører i praksis sådanne krav til størrelse og køling af koblingen, at denne løsning ikke er økonomisk praktiserbar. En sekundær ulempe er, at et vist slip er nødvendigt også ved del-
10 last, for ellers vil en synkrongenerator forårsage effektsvingninger. Også i dette driftsområde afsættes effekten fra slippet som varme. Hvor tabet ved drift på mærkeeffekten kan siges at være ligegyldigt ud fra en effektivitetsbetragtning, da der er rigelig indgangseffekt til rådighed, og tabet derfor kun har indflydelse på koblingens dimensionering og køling, er tabet ved delast klart ugunstigt ud fra en effektivitetsbetragtning. Ved vindhastigheder, hvor vindmøllen ikke yder sin maksimaleffekt, er det væsentligt, at
15 effektiviteten er så god som muligt, og her er et slip, der udmærker sig som spildvarme, kun en ulempe.
20

De mangler, der er uløseligt knyttede til den direkte nettilsluttede asynkrongenerator med kortsluttet rotor, har været alment kendt i længere tid. For stallregulerede vind-
25 møller, hvor selve effektreguleringen forudsætter et nogenlunde konstant omløbstal, anses asynkrongeneratoren normalt for at være en nær optimal løsning, og indsatsen har derfor været koncentreret om afhjælpning af de tilhørende problemer. Der er udviklet metoder til justering af slippet i selve fremstillingen af generatoren, så generatorens specifikationer kan optimeres til den aktuelle vindmølletypes dynamiske egenskaber. Der er udviklet elektroniske indkoblingssystemer, og både faste og regulerbare
30 fasekompenseringsystemer kan leveres som standard.

4

For pitchregulerede vindmøller er billedet anderledes. De ulemper, der er knyttet til drift med pitchregulering og lille slip, har vist sig at være væsentlige, og stort set alle kommercielle vindmøller med pitchregulering har efterhånden en eller anden form for variabelt omløbstal.

5

Det variable omløbstal kan etableres på forskellig måde.

I en simpel udførelse kan den direkte nettilsluttede asynkrongenerator med kortsluttet rotor erstattes med en ligeledes direkte nettilsluttet asynkrongenerator med viklet rotor, slæberinge og eksterne resistorer. I dette arrangement afsættes størsteparten af rotortabet i de eksterne resistorer, og slippet er proportionalt med rotoreffekten. Der kan opnås et vilkårligt stort slip. Arrangementet har dog væsentlige ulemper. Der skal anvendes en viklet rotor og slæberinge, begge dele fordyrende elementer, og med slæberingene og deres børster indføres sliddele, der i væsentligt omfang mindsker generatorens robusthed. Hvis der skal opnås en væsentlig forøgelse af slippet, bliver rotortabet betydeligt også ved dellast, hvor det er uønsket, og man vil derfor normalt være nødt til at indføre en form for regulering af de eksterne resistorer, hvilket medfører yderligere kompleksitet.

I en mere avanceret udførelse benyttes en direkte nettilsluttet asynkrongenerator med viklet rotor, hvor slæberingene og de eksterne resistorer er erstattet af kraftelektronik og resistorer monteret på rotoren. Som for udførelsen med eksterne resistorer er slippet proportionalt med rotoreffekten, og med kraftelektronikken kan resistansen reguleres, så tabene ved dellast bliver minimeret. Skønt vanskelighederne med slæberinge og børster undgås, har også dette arrangementet dog væsentlige ulemper. Der skal stadig anvendes en viklet rotor, og fjernelsen af slæberingene medfører, at der skal anvendes roterende kraftelektronik med kommunikation til den stationære møllestyring, hvilket igen i væsentligt omfang mindsker generatorens robusthed. Da resistorerne ikke er eksterne, er der grænser for, hvor stor termisk belastning der kan afsættes, og dermed for, hvor stort slippet kan blive. Der angives typisk værdier på 10 %.

Fælles for de to ovennævnte løsninger er, at der med et forøget slip kun kan reguleres op i omløbstal fra det synkrone omløbstal, ikke ned. Dertil kommer, at asynkrongene-

5

ratorens problem med det reaktive forbrug til magnetisering er uændret, og at der derfor stadig skal benyttes ekstern fasekompensering.

5 I en tredje udførelse kan problemet med det reaktive forbrug løses samtidig med, at der opnås større fleksibilitet i omløbstallet. Der bruges igen en direkte nettilsluttet asynkrongenerator med vildet rotor og slæberinge, men de eksterne resistorer erstattes med en 4-kvadrant frekvensomformer, der er koblet til nettet. På denne måde kan den effekt, der afsættes i rotoren, omformes og fødes tilbage til nettet. Med et effektbidrag fra rotoren kan statorens nominelle effekt reduceres tilsvarende. Med passende dimensionering kan frekvensomformeren levere reaktiv effekt til statorviklingen, og behovet for ekstern fasekompensering kan fjernes. I modsætning til de ovenfor nævnte løsninger kan der her reguleres både op og ned i omløbstal, og det er hovedsageligt frekvensomformerens dimensionering, der sætter grænserne for variationerne i omløbstallet. Dimensioneringen er ikke helt simpel, hvis frekvensomformeren også skal levere reaktiv effekt til statoren, men generelt gælder, at frekvensomformeren skal have en relativ størrelse i forhold til statoren, der svarer til det ønskede slip. Der kan typisk være behov for et reguleringsområde på +/- 20 %.

20 På trods af den større fleksibilitet har arrangementet med en frekvensomformer på en vildet rotor dog sine specifikke ulemper. Der skal stadig anvendes en vildet rotor og slæberinge. Da rotorspændingen er proportional med slippet, kan der desuden optræde skadelige overspændinger på frekvensomformeren, hvis slippet under regulering overstiger den ønskede værdi. Omvendt er regulering nær det synkrone omløbstal normalt ikke mulig, da slippet her er lille og spændingerne dermed små.

25 I en fjerde udførelse bruges en direkte nettilsluttet asynkrongenerator med kortsluttet rotor, som tilsluttes en 4-kvadrant frekvensomformer, der er koblet til nettet. På denne måde omformes hele effekten, før den fødes tilbage til nettet. Frekvensomformeren kan levere reaktiv effekt til generatoren, og behovet for ekstern fasekompensering kan fjernes. Der kan reguleres både op og ned i omløbstal, og da frekvensomformeren dimensioneres til den fulde effekt, bliver reguleringsområdet typisk 10-150 %.

6

- På trods af den simple udførelse, hvor den robuste kortslutningsgenerator kan benyttes, har arrangementet med en fuld frekvensomformning dog også sine egne ulemper. Selve frekvensomformerens størrelse bliver stor og dyr, da den skal kunne overføre hele effekten. Tabene i omformerens bliver tilsvarende store, typisk 3-4 % af generatoreffekten. Dette medfører væsentlige kølingsbehov, og selve frekvensomformerens fysiske dimensioner kan medføre, at den kun vanskeligt kan anbringes i selve vindmøllen. Skønt der med frekvensomformerens kan opnås gode netforhold ud fra en statisk betragtning, giver en frekvensomformer også harmoniske overtoner på nettet i et vist omfang. Dette gælder også for løsningen med en frekvensomformer på rotorsiden alene, men i den situation virker stator kredsen i et vist omfang som et filter. I den her omtalte løsning med fuld frekvensomformning vil overtonerne være ufiltrerede, og det kan være nødvendigt at benytte såvel eksterne reaktorer som en særlig transformertype, der bidrager til filtreringen.
- Der kendes en lang række yderligere kombinationer af generatortyper og frekvensomformere, herunder mere avancerede rotorkonfigurationer, permanent magnetiserede generatorer m.v., men fælles for dem alle er, at de fortsat har deres individuelle ulemper.
- Formålet med den foreliggende opfindelse er at tilvejebringe en fremgangsmåde og et apparat til drift af vindmøller med variabelt omløbstal, som reducerer de ulemper, der er forbundet med kendte metoder. Dette formål opnås ved at benytte en løsning, som er baseret på en regenerativ slipkobling, som indskydes mellem gear og generator. Den regenerative slipkobling kan opfattes som en sekundær generator, hvis udgangseffekt er proportional med slippet. Slipkoblingen kontrolleres med en frekvensomformer, som føder effekten fra slippet tilbage på nettet.

Denne løsning har en lang række fordele.

- Den primære generator kan udføres som en standard synkrogenerator med de tilhørende fordele angående netforholdene. Eftersom synkrogeneratoren ikke skal forsynes med en frekvensomformer, behøver den ikke de særlige modifikationer, der normalt er nødvendige for dette, såsom isolerede lejer og særlig beskyttelse mod transienter. Ved

7

at etablere slipkoblingen som en separat enhed opnås altså den fordel, at den primære generator kan være en standardgenerator, uden forøget kompleksitet.

5 Den samlede effekt fra vindmøllen bliver summen af effekten fra slipkoblingen og den primære generator. Den primære generator kan derfor udføres mindre end svarende til vindmøllens mærkeeffekt. Dimensioneringen sker ud fra behovet for hastighedsvariation. Erfaringen viser, at en hastighedsvariation på mindre end 10 % er tilstrækkelig for en tilfredsstillende regulering. Med lidt konservativ dimensionering kan slipkoblingen f.eks. udføres svarende til et normalt slip på 10 % og dermed en effekt på 10 % af
10 vindmøllens mærkeeffekt. Den primære generator udføres da med en effekt på 90 % af vindmøllens mærkeeffekt.

Når slipkoblingen dimensioneres efter et slip på 10 %, skal frekvensomformereren, som styrer slipkoblingen, også kun have en effekt på 10 % af vindmøllens mærkeeffekt.
15 Dette medfører, at tabene i og de harmoniske forstyrrelser fra frekvensomformereren nedsættes betydeligt i forhold til de situationer, hvor frekvensomformereren skal overføre den samlede effekt.

Med en særlig fordelagtig udførelse af slipkoblingen kan der opnås den meget væsentlige fordel, at slipkoblingen kan eftermonteres på en eksisterende vindmølle. Derved kan en vindmølle, der måtte vise sig at have ugunstige driftsforhold med konstant omløbstal, let ombygges til variabelt omløbstal uden væsentlige indgreb.
20

Slipkoblingen kan i princippet have en nogenlunde lineær momentkarakteristik ved rent ohmsk belastning. Derved opnås mulighed for redundans i systemet, hvis frekvensomformereren skulle svigte. I tilfælde af svigt af omformereren, kortsluttes udgangen fra slipkoblingen med resistorer, og vindmøllen kan da køre videre. Koblingens karakteristik vil da nogenlunde svare til den for en hydraulisk kobling, med den hydrauliske koblings tilhørende ulempe i form af et belastningsafhængigt tab, men selv om denne driftsform
25 ikke er ønskværdig på langt sigt, er den langt at foretrække i forhold til en situation, hvor møllen skal stå stille. Ikke mindst på havmølleparker, hvor adgangsforholdene kan være vanskelige, vil en automatisk forbikobling af frekvensomformereren i tilfælde af fejl kunne give en mærkbar forøgelse af sikkerheden mod tab af rådighed.
30

I forhold til vindmøller med direkte sammenkobling af gear og generator kan der med slipkoblingen opnås den fordel, at frekvensomformerens regulering af koblingen kan indstilles til kun at overføre moment i én retning, fra gearet til generatoren. Herved undgås, at vindmøllen kan optage effekt som en slags ventilator ved kortvarige fald i vindhastigheden, når middelvindhastigheden er omkring den hastighed, hvor vindmøllen begynder at kunne yde effekt.

Slipkoblingen har ydermere den fordel, at den kan udføres med en veldefineret øvre grænse for sin momentkapacitet. Derved vil den fungere som en skridkobling ved kortvarige stødmomenter fra den primære generator. Sådanne stødmomenter kan f.eks. forekomme ved netforstyrrelser, og kan ved direkte kobling af gear og generator forårsage skader på gearet. Med slipkoblingen kan risikoen for skader helt elimineres.

Ved indkobling af vindmøllen skal både fase- og frekvensforholdene for den primære generator passe til nettet. Muligheden for ohmsk belastning af slipkoblingen kan udnyttes til at give særlige fordele i en indkoblingssituation. Udgangspunktet er, at vindmøllen står stille, og frigives til drift. Vindmøllens rotor accelereres af vinden. Slipkoblingens frekvensomformer forbikobles med resistorer, der er dimensioneret sådan, at koblingens karakteristik svarer til et forholdsvis stort slip. Da inertien af den primære generator er forholdsvis lille, vil generatorens rotor i accelerationsforløbet drives med tilnærmelsesvist samme omløbstal som gearets udgangsaksel. Når det synkrone omløbstal er nået, fastholdes omløbstallet så vidt muligt på det synkrone omløbstal ved pitchregulering af vindmøllens rotor. Omløbstallet vil dog variere noget på grund af vindens turbulens. Mens omløbstallet fastholdes nogenlunde på det synkrone omløbstal, indkobles den primære generator på nettet ved hjælp af frekvensomformerens, der i denne situation ikke kræves til drift af slipkoblingen, som jo er rent ohmsk belastet. Indkoblingen kan ske gradvist, så fase- og frekvensforholdene for generatoren glidende tilpasses nettet. Indkoblingen afsluttes med, at frekvensomformerens forbikobles med en kontaktor, når net og generatorsiderne af frekvensomformerens er fuldstændigt synkroniseret. Den primære generator er nu direkte koblet til nettet. Dimensioneringen af slipkoblingens resistorer til et forholdsvis stort slip medfører, at variationer i omløbstallet ikke giver anledning til uacceptable effektvariationer fra den primære generator.

Frekvensomformeren forbindes nu til slipkoblingen, den uønskede belastning af slipkoblingen frakobles, og frekvensomformeren kan herpå styre og regulere koblingen som ønsket.

- 5 Ved den ovennævnte fremgangsmåde til indkobling undgås brug af konventionelt synkroniseringsudstyr for den primære generator, hvilket i sig selv kan medføre en besparelse. Vigtigere er det måske, at indkoblingen kan vælges vilkårligt lempelig, så den primære generator kan kobles til selv meget svage net, uden at det vil mærkes som spændingsvariationer.

10

Hvad angår midlerne til at opnå den ønskede virkning, henvises til patentkravene.

- I det følgende beskrives opfindelsen nærmere, idet der henvises til figurene. Den primære generator antages i beskrivelsen at være en synkrogenerator med fast omløbstal på 1500 o/min, mens slipkoblingen antages at være en synkron generator forsynet med en frekvensomformer, der giver et hastighedsområde på 0 - 250 o/min i koblingen. I en virkelig udførelse kan der vælges andre generatortyper og hastighedsområder.

15

- Figur 1 viser et udsnit af transmissionssystemet i en vindmølle med slipkoblingen monteret mellem gear og generator. Koblingen er vist i halvt gennemsnit, mens de fleste øvrige komponenter, der er standard i vindmøller, er vist i normalt sidebillede.

20

Gæaret 1 er forsynet med bremseskiven 2 og bremsekaliperen 3. Den elastiske kobling 4 forbinder gæaret til slipkoblingen 5. Slipkoblingen bæres af generatoren 6.

25

Figur 2 viser en forstørrelse af figur 1.

- Den elastiske kobling 4 har et elastisk element 5. Slipkoblingens statorhus 6 er forsynet med en statorpakke 7 og en statorvikling 8. Med forbindelsesstykket 9 er statorhuset forbundet til det elastiske koblingselement 5. Forbindelsesstykket bærer slæberingene 10, der aftager effekten fra statorviklingen 8. Koblingens rotor har en hulaksel 11, der er monteret på den primære generators aksel 12. Rotoren 13 bærer en række poler 14,

30

her udført som permanente magneter. Frekvensomformer og resistorer til koblingen er ikke vist på figuren.

Figur 3 viser et eksempel på en momentkarakteristik for en slipkobling udført jfr. opfindelsen.

Når slippet er 0, følger den primære generators aksel med gearets udgangsaksel, og koblingens moment er 0. Efterhånden som gearets omløbstal stiger, stiger også slippet, og momentkarakteristikken er tilnærmelsesvist lineær fra 0 til 5 % slip. Når fuldt moment er nået, ændres slipkoblingens momentkarakteristik, så momentet overgår til en hyperbolsk funktion af slippet. Overstiger slippet en bestemt grænse, skiftes til en ny hyperbolsk funktion, som fastholder slipkoblingens effekt på et bestemt niveau for at undgå termisk overbelastning af koblingen.

Figur 4 viser de effektforhold fra den samlede vindmølle, der vil blive resultatet af en momentkarakteristik som vist i figur 3.

Ved det synkrone omløbstal, 100 %, følger den primære generators aksel med gearets udgangsaksel, momentet er 0, og der afsættes ingen effekt i slipkoblingen. Efterhånden som gearets omløbstal stiger, stiger slippet mellem gearet og generatoren, og der overføres et stigende moment i slipkoblingen. Når fuldt moment er nået ved 5 % slip, yder vindmøllen 100 % effekt. Her ændres slipkoblingens momentkarakteristik som vist i figur 3, så den totale effekt fastholdes på 100 %. Efterhånden som omløbstallet øges, stiger også den effekt, der optages af koblingen (selv om momentet falder svagt), og effekten fra den primære generator falder tilsvarende, så den totale effekt bliver konstant. Denne karakteristik kræver ingen kontrol af den primære generator, men opnås ved den éntydige sammenhæng af omløbstal og moment på slipkoblingen, styret af frekvensomformeren. Når slippet overstiger en bestemt grænse, fastholdes slipkoblingens effekt på et bestemt niveau for at undgå overbelastning, og den samlede effekt fra vindmøllen begynder igen at falde.

Den viste karakteristik er blot ét eksempel på en fordelagtig fremgangsmåde ved driften af vindmøllen. Talrige andre momentkarakteristikker og dermed samlede karakteri-

stykker for vindmøllen er også mulige med slippkoblingen. En særlig gruppe udgøres af karakteristikkene, hvor slippkoblingen i en del af driftsområdet drives som motor. Herved kan møllens hastighedsområde udvides betydeligt.

- 5 Figur 5 viser et eksempel på en momentkarakteristik for en slippkobling i henhold til opfindelsen, og hvor koblingen i en del af driftsområdet drives som motor.

Koblingen drives som motor med en momentkarakteristik, der er en lineær funktion af slippet. Når slippet er 0, følges den primære generators aksel med gearrets udgangsaksel, og koblingens moment er maksimalt. Her ændres slippkoblingens momentkarakteristik, så momentet overgår til en hyperbolsk funktion af slippet, samtidig med, at koblingen begynder at fungere som generator. Overstiger slippet en bestemt grænse, skiftes til en ny hyperbolsk funktion, som fastholder slippkoblingens effekt på et bestemt niveau for at undgå termisk overbelastning af koblingen.

15

Figur 6 viser de effektforhold fra den samlede vindmølle, der vil blive resultatet af en momentkarakteristik som vist i figur 5.

- 20 Ved det undersynkrone omløbstal, her 70 %, hvor koblingen begynder at yde moment, begynder vindmøllen at yde effekt. I området fra 0 til 100 % effekt, yder den primære generator en mereeffekt i forhold til vindmøllens afgivne effekt, som svarer til den effekt, koblingen optager som motor. Når slippet er 0, er koblingens moment maksimalt, men da slippet er 0, afsættes der ingen effekt i slippkoblingen. Den samlede effekt afgives her af den primære generator, og niveauet er valgt til 100 % af mærkeeffekten. Her
- 25 ændres slippkoblingens momentkarakteristik som vist i figur 5, så den totale effekt fastholdes på 100 %. Efterhånden som omløbstallet øges, stiger også den effekt, der optages af koblingen (selv om momentet falder svagt), og effekten fra den primære generator falder tilsvarende, så den totale effekt bliver konstant.

30

Modtaget PD

- 4 JUNI 1999

12

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåde til drift af vindmøller, hvor en primær generator af vindmøllens rotor, eventuelt med en udvekslingsmekanisme, drives med konstant eller tilnærmelsesvist konstant omløbstal, **kendetegnet ved**, at der mellem vindmøllens rotor og generatoren er indføjet et apparat, som med et vist slip overfører momentet til generatoren, og hvor den effekt, der hidrører fra slippet, kan regenereres til det elektriske net.
2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, **kendetegnet ved**, at momentet i apparatet reguleres på en sådan måde, at den samlede effekt, der afgives fra vindmøllen, holdes konstant over et vist slipområde.
3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, **kendetegnet ved**, at apparatet drives både som motor og som generator.
4. Fremgangsmåde ifølge et vilkårligt af de ovenstående krav, **kendetegnet ved**, at den effekt, som hidrører fra slippet mellem vindmøllens rotor og generator, leveret til det elektriske net med en frekvensomformer.
5. Fremgangsmåde ifølge et vilkårligt af de ovenstående krav, **kendetegnet ved**, at slippet mellem vindmøllens rotor og generator har en størrelse fra -50 % til +50 %.
6. Fremgangsmåde ifølge krav 4, **kendetegnet ved**, at apparatets frekvensomformer midlertidigt frakobles apparatet og anvendes ved synkronisering af den primære generator til det elektriske net.
7. Apparat ifølge et vilkårligt af de ovenstående krav, **kendetegnet ved**, at apparatet er en elektrisk maskine, der kan fungere enten som motor, som generator, eller som både motor og generator.

13

8. Apparat ifølge et vilkårligt af de ovenstående krav, kendetegnet ved, at apparatet er en synkrogenerator monteret på den primære generators aksel.
- 5 9. Apparat ifølge et vilkårligt af de ovenstående krav, kendetegnet ved, at apparatet indeholder en frekvensomformer, der leverer den effekt, som hidrører fra slippet, til det elektriske net.

- 4 JUNI 1999

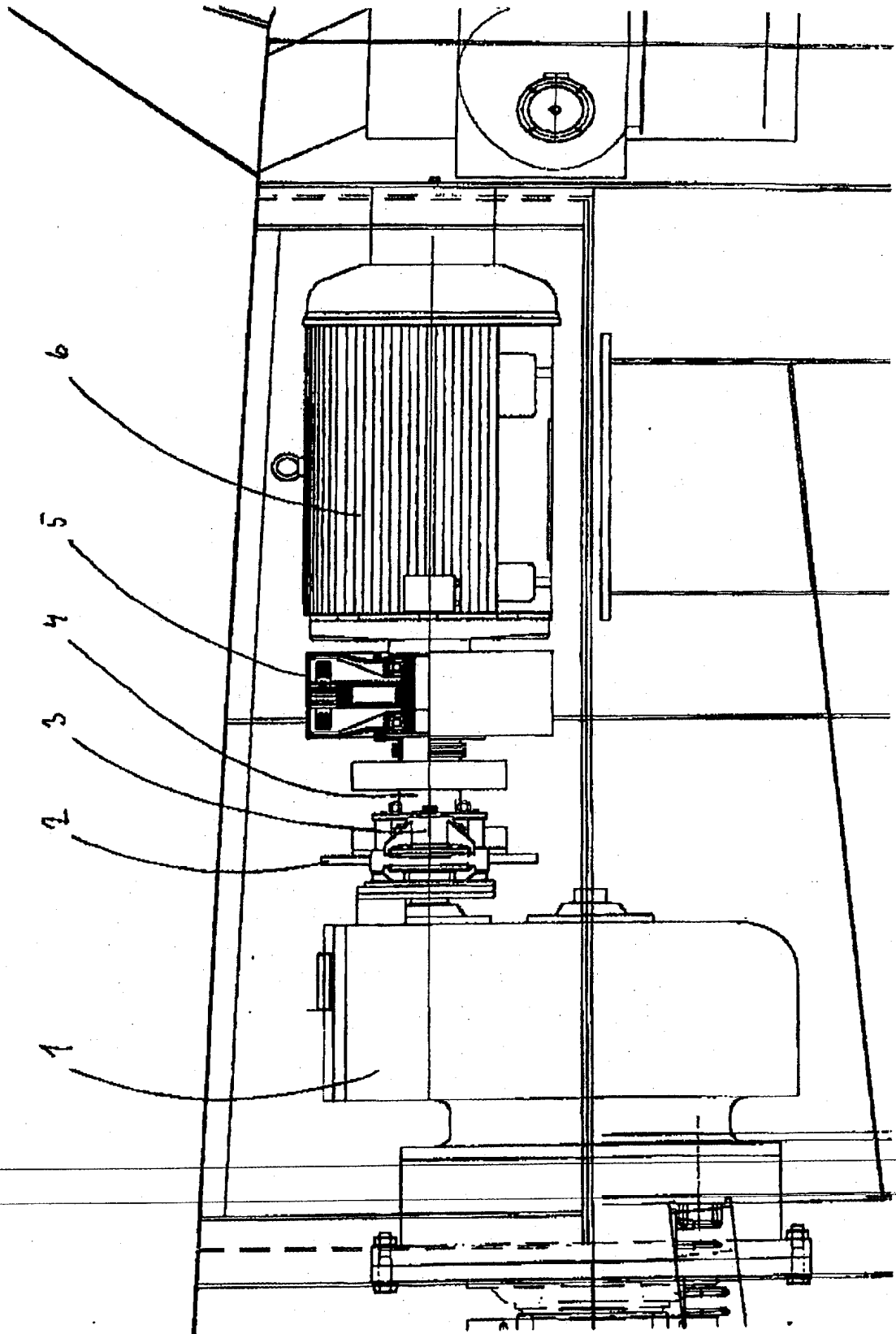
14

SAMMENDRAG

- 5 Opfindelsen angår en fremgangsmåde til at drive en vindmølle med variabelt omløbstal og en direkte nettilsluttet primær generator. Ved denne fremgangsmåde indføres en regenerativ slipkobling mellem vindmøllens rotor og generatoren, hvorved den effekt, der hidrører fra slippet, kan regenereres til det elektriske net. Den samlede effekt, der afgives fra vindmøllen, holdes konstant over et vist slipområde. Opfindelsen angår også den konkrete udformning af slipkoblingen.

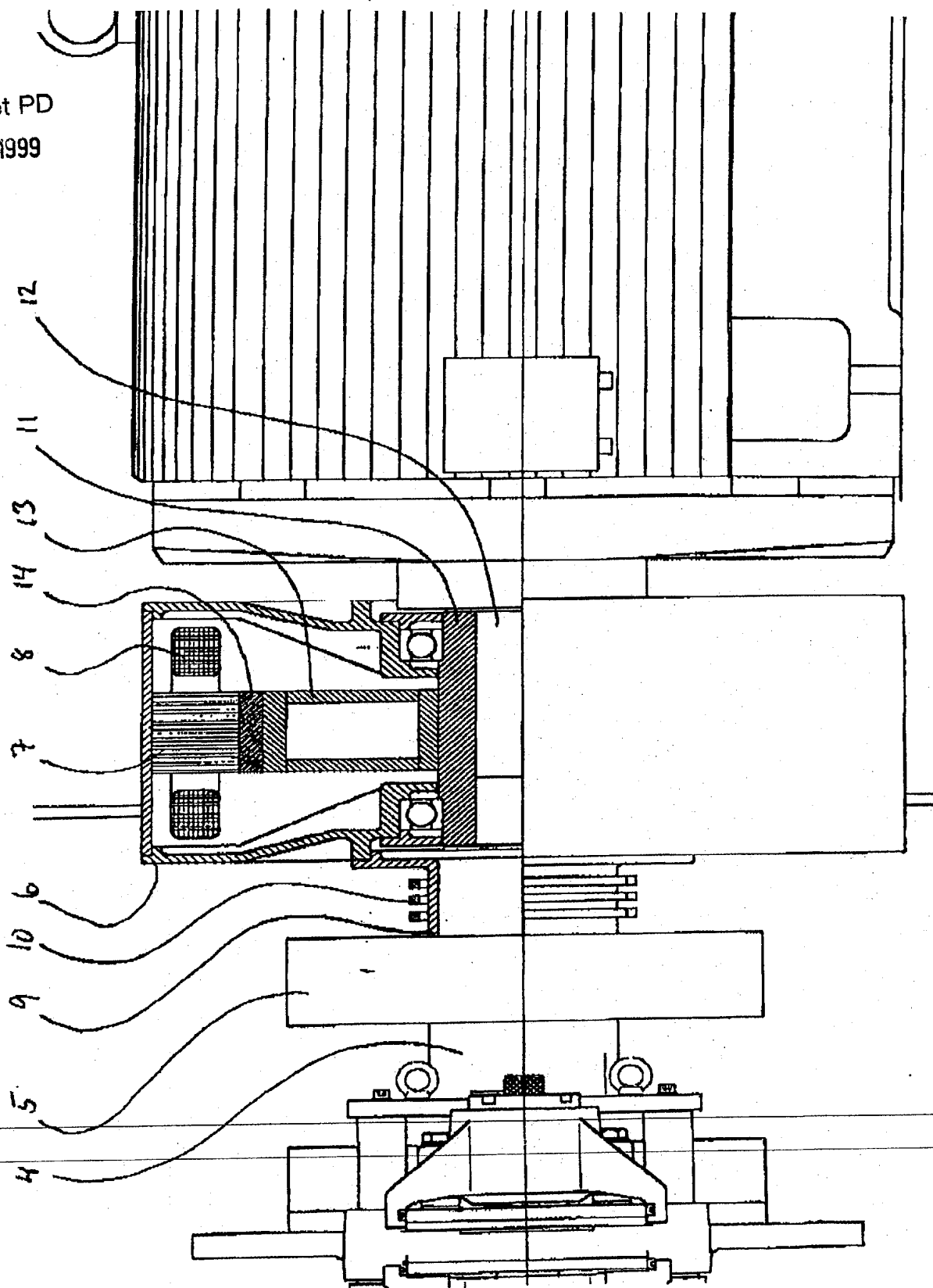
Modtaget PD

- 4 JUNI 1999



(1)

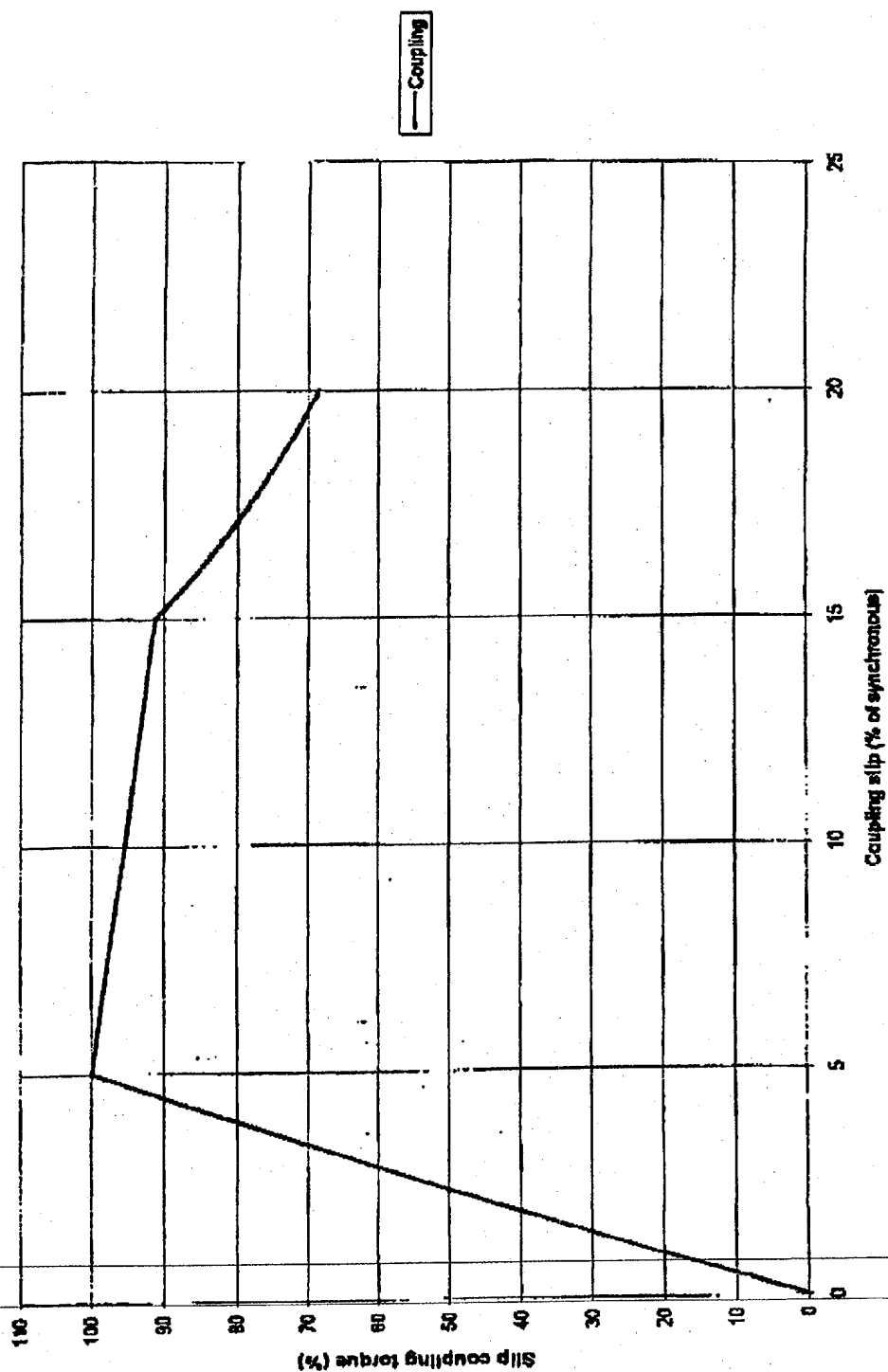
Modtaget PD
- 4 JUNI 1999



(2)

24 JUNI 1999

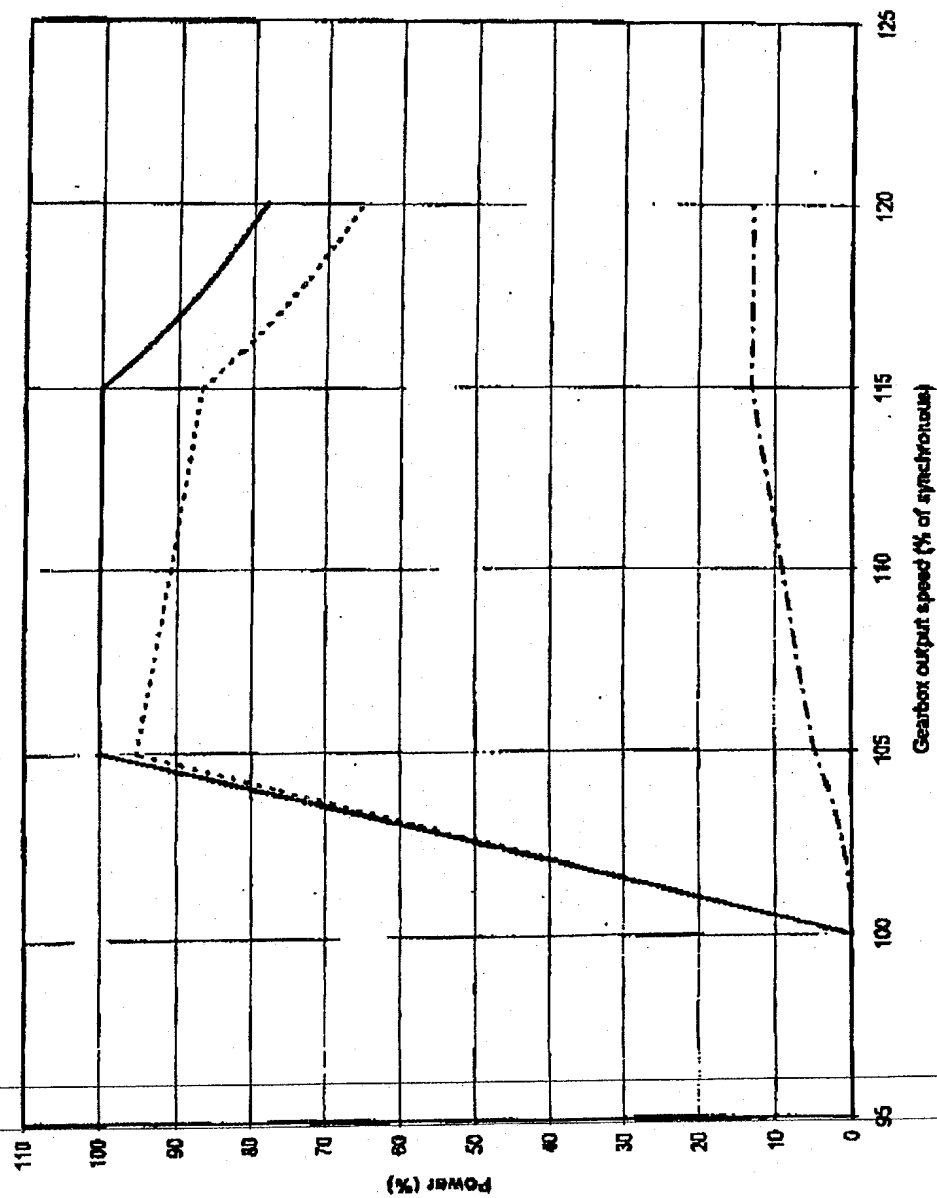
Operational data for slip coupling



Modtaget PD
- 4 JUNI 1999

(4)

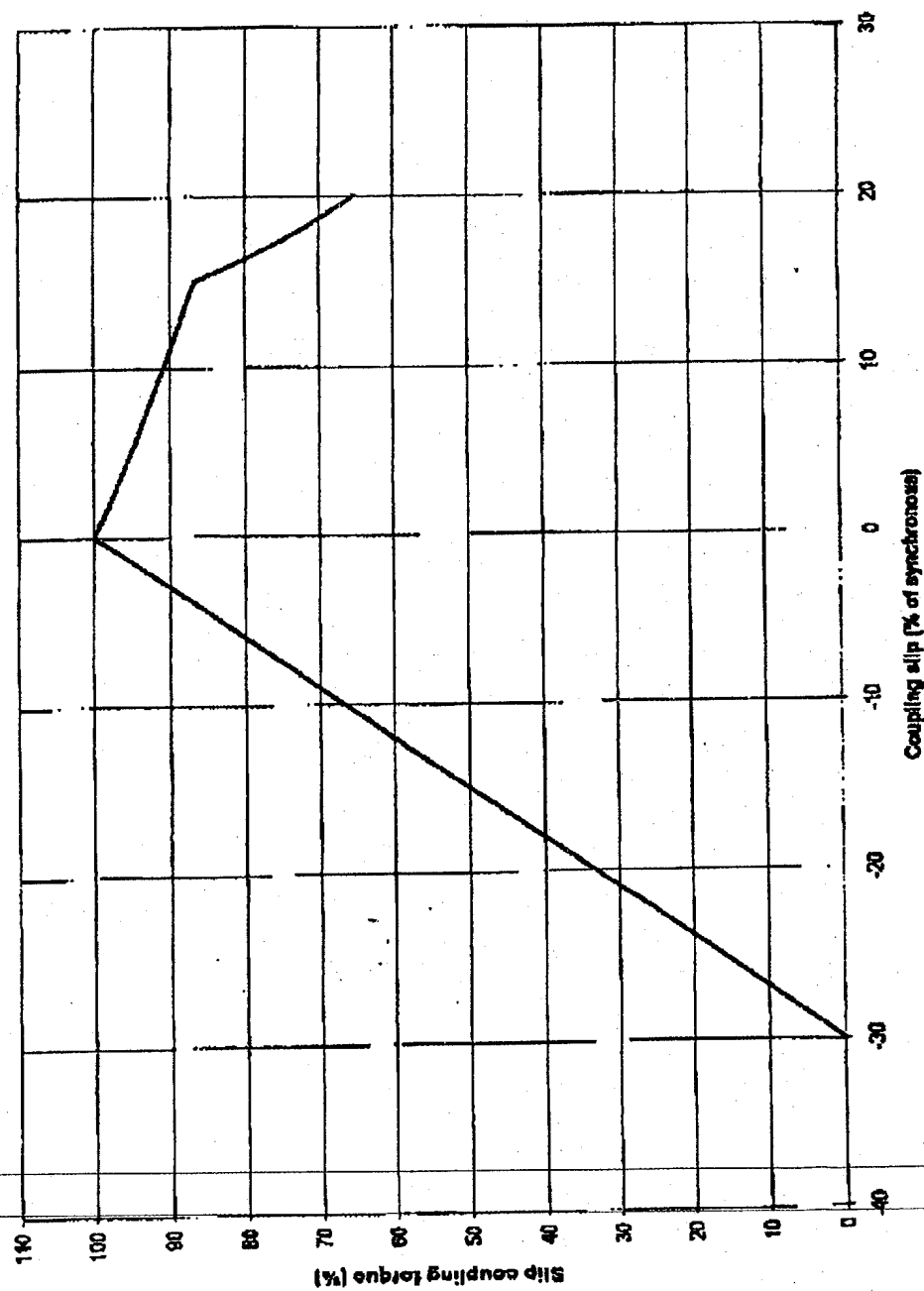
Operational data for slip coupling



Moutaget PD

- 4 JUNI 1999

Operational data for slip coupling



- 4 JUNI 1999

Operational data for slip coupling

